



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

**AEMet**  
Agencia Estatal de Meteorología

# **Conceptos Básicos sobre Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Calentamiento Global**

**Ángel J. Gómez Peláez**

**(Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, AEMET)**

**Curso de AEMET: Conceptos Básicos en Composición Atmosférica**

**18 de junio de 2016**

**Observatorio Atmosférico de Izaña**

# ¿Que es el IPCC?

[http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)

**“El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal órgano internacional encargado de evaluar el cambio climático.**

**Se creó en 1988** a iniciativa del **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM)**, para ofrecer al mundo una visión científica clara del estado actual de los conocimientos sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones medioambientales y socioeconómicas.

En el mismo año, **la Asamblea General de las Naciones Unidas hizo suya la decisión de la OMM y del PNUMA de crear conjuntamente el IPCC.”**

El IPCC es

- un órgano científico (**Miles de científicos** de todo el mundo aportan contribuciones a la labor del IPCC, en calidad de autores, autores contribuyentes y revisores)
- es un órgano intergubernamental (195 países)

**En 2014, el IPCC finalizó el Quinto Informe de Evaluación, preparado por los tres Grupos de Trabajo**

# Estructura del IPCC:



OMM



UNEP

Sesión plenaria del IPCC

Mesa del IPCC

Comité ejecutivo del IPCC

Secretaría del IPCC

Grupo de trabajo I

Bases físicas

Unidad de apoyo técnico

Grupo de trabajo II

Impacto, adaptación y vulnerabilidad

Unidad de apoyo técnico

Grupo de trabajo III

Mitigación del cambio climático

Unidad de apoyo técnico

Grupo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Unidad de apoyo técnico

Autores, autores contribuyentes y revisores

**Contribución del Grupo de trabajo I (WGI) al Quinto Informe de Evaluación del IPCC: “CAMBIO CLIMÁTICO 2013. Bases físicas.”**

**Este informe, es utilizado extensivamente en esta presentación, y es citado como IPCC WGI 2013.**

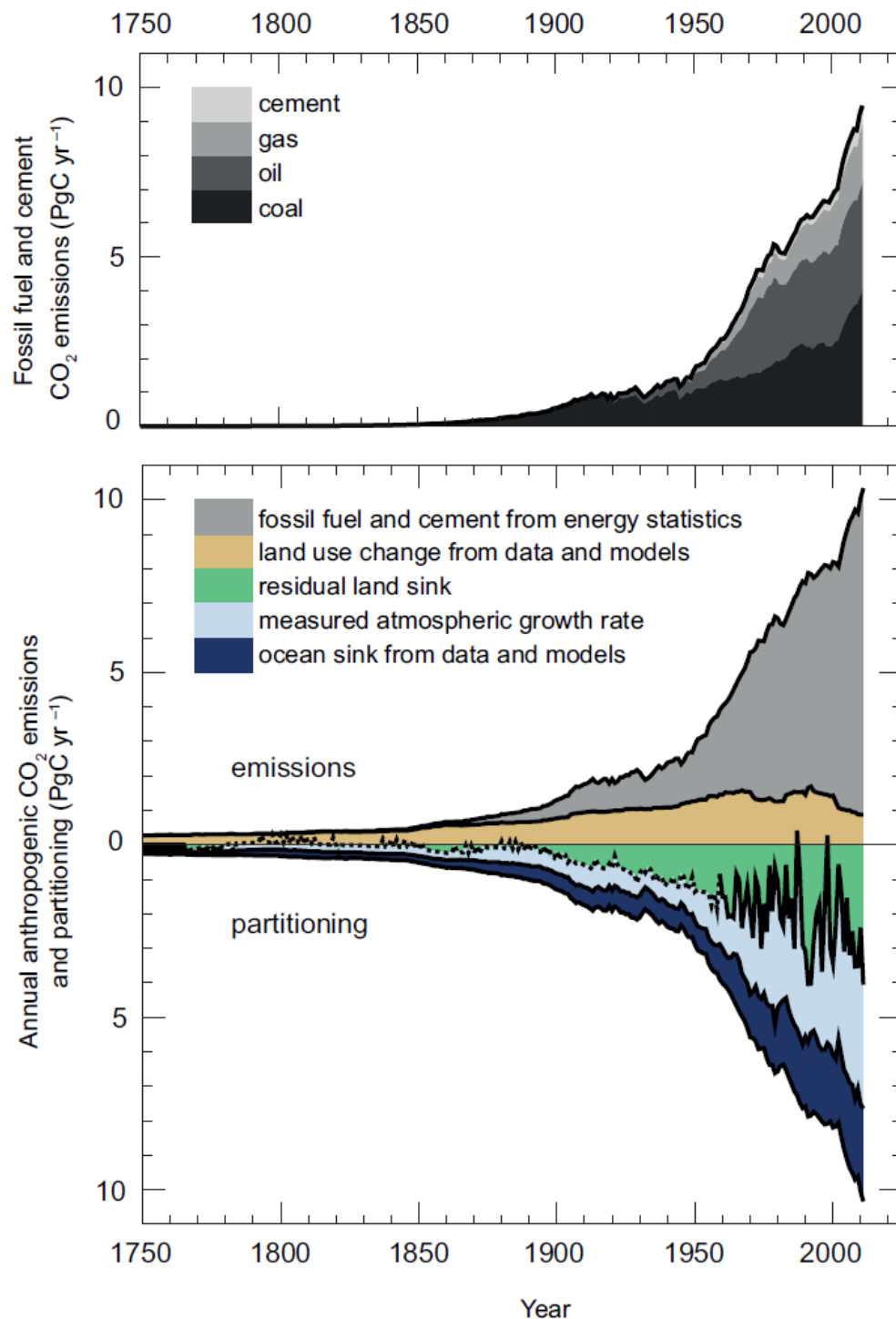
## ¿Qué determina el valor de concentración de un gas de efecto invernadero de larga vida en la atmósfera?

La resultante del balance entre fuentes (emisiones) y sumideros (destrucción química, absorción por el océano...).

- Si la atmósfera recibe la misma cantidad de ese GEI que pierde: su concentración permanece constante.
- Si la atmósfera recibe más cantidad de ese GEI que la que pierde: **su concentración aumenta** (es lo que está ocurriendo debido a emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero).
- Si la atmósfera recibe menos cantidad de ese GEI que la que pierde: su concentración disminuye.

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**, **metano (CH<sub>4</sub>)** y **óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)** se han **incrementado desde 1750 debido a las actividades humanas**. En 2014 las concentraciones medias globales de estos gases eran 397.7 ppm, 1833 ppb y 327.1 ppb, **y excedían el nivel preindustrial en un 43%, 154% y 21%, respectivamente** (Boletín OMM GEI, 2015). Son los niveles más altos de GEI de los últimos 800.000 años (IPCC WGI 2013).





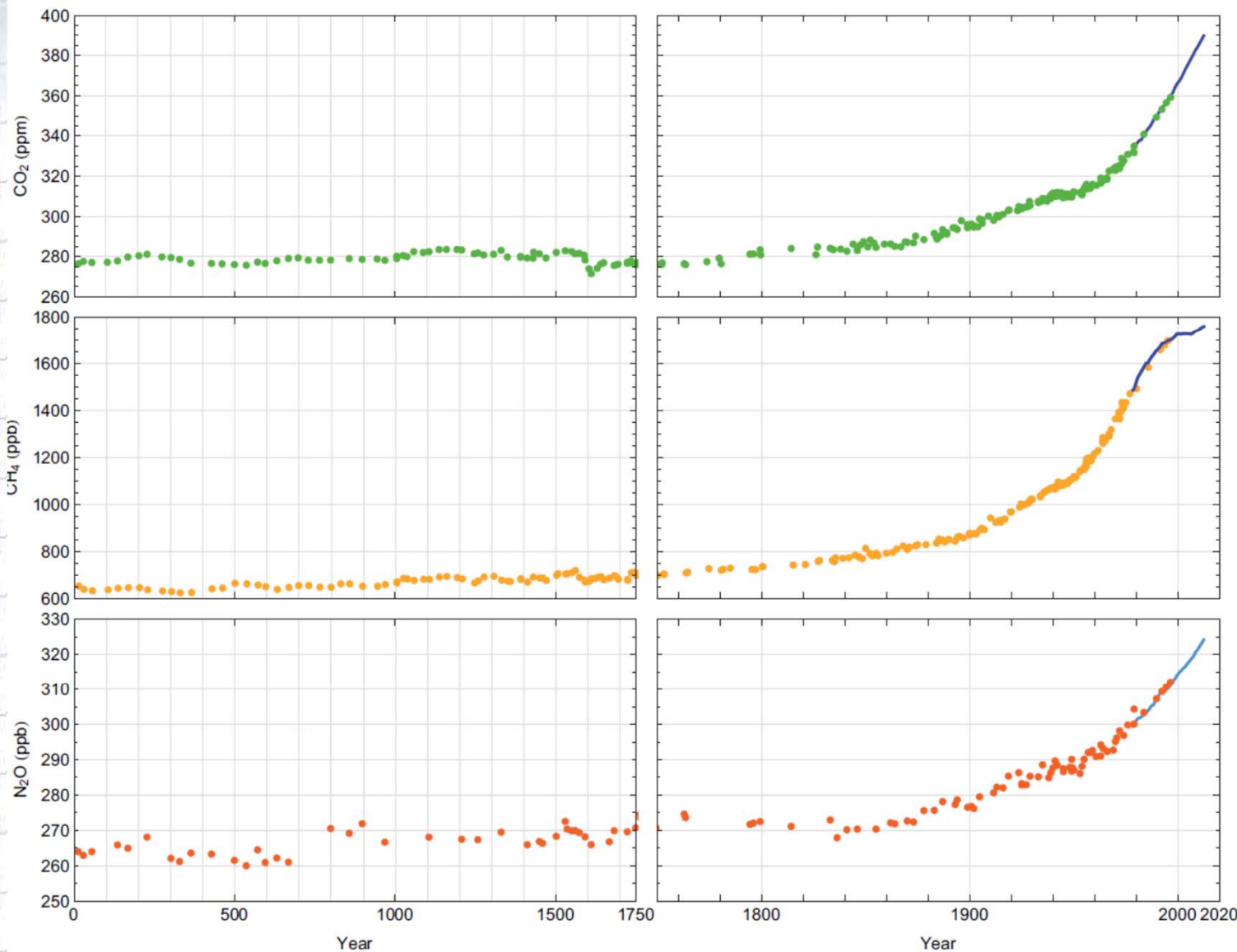
GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

**Emisiones anuales antropogénicas de CO<sub>2</sub> desde la revolución industrial** (figura del IPCC WGI 2013).

- Emisiones debidas a: **quema de combustibles fósiles**, **cambio en los usos del suelo (deforestación)** y producción de cemento.
- **Aproximadamente la mitad del CO<sub>2</sub> emitido permanece en la atmósfera a largo plazo (siglos)** y la otra mitad es absorbida por el océano y la biosfera; por lo que **mientras se siga emitiendo CO<sub>2</sub> seguirá aumentando la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.**



**Figure 6.11** | Atmospheric  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , and  $\text{N}_2\text{O}$  concentrations history over the industrial era (right) and from year 0 to the year 1750 (left), determined from air enclosed in ice cores and firn air (colour symbols) and from direct atmospheric measurements (blue lines, measurements from the Cape Grim observatory) (MacFarling-Meure et al., 2006).

## Evolución del $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ y $\text{N}_2\text{O}$ atmosférico

(Figura del IPCC WGI 2013)

**El  $\text{CH}_4$  se destruye en la atmósfera (reacción con OH fundamentalmente). Su vida media es de unos 9 años.**

**Es suficiente con mantener constante (durante unos 10-20 años) la tasa anual de emisión de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera para que la concentración de  $\text{CH}_4$  se mantenga constante.**

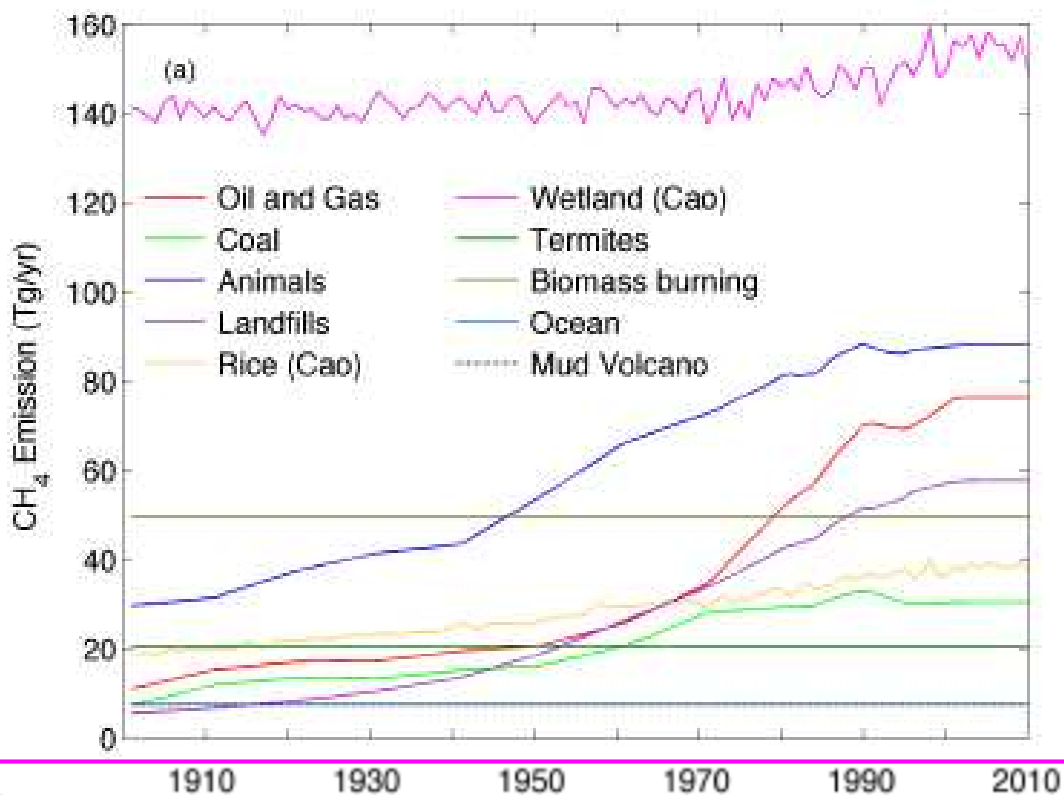


Figura de Ghosh et al. (2015) ACP

Evolución de las **emisiones de CH<sub>4</sub>** durante 1900-2010.

**40% Emisiones son naturales:** fundamentalmente de humedales y termitas.

**60% Emisiones son antropogénicas:** rumiantes, explotación de combustibles fósiles, vertederos, cultivo de arroz, y quema de biomasa.

## Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O):

- **Vida media en la atmósfera: 131 años. Se destruye en la estratosfera por fotólisis y por reacción química con O(1D).**
- **40% Emisiones son antropogénicas:** Agricultura (fertilizantes), combustión de combustibles fósiles y procesos industriales, quema de biomasa y biofueles...
- **60% Emisiones son naturales:** suelos bajo vegetación natural y océanos.

## ¿Qué temperatura tiene un cuerpo/objeto?



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

La resultante del balance en el intercambio de calor con su entorno.

- Si recibe el mismo calor que da: su temperatura permanece constante
- Si recibe más calor que el que da: su temperatura aumenta
- Si recibe menos calor que el que da: su temperatura disminuye.

### Formas de intercambiar calor:

- Por **conducción térmica**: **toco** algo muy caliente y me quemo.
- Por **radiación infrarroja (calor radiante)**: onda electromagnética no visible.

**Todos los cuerpos la emiten y absorben**: emiten más cuanto mayor temperatura tienen. **Además los cuerpos pueden absorber radiación visible y UV.**

- Por **convección** (transporte de calor contenido en parcelas de fluido en movimiento)
- Por evaporación/condensación (**calor latente**).

**Ejemplo:** Termo para mantener la temperatura de una bebida caliente. Propósito: evitar que se enfríe. Recipiente cerrado: no intercambio de calor con el exterior por convección ni evaporación. Doble pared con vacío en medio: muy poca conducción. Paredes reflectantes: muy poco intercambio de calor radiante.



## ¿Qué temperatura media tiene la Tierra?

La resultante del balance en el intercambio de calor con su entorno (el espacio interplanetario).

- Si recibe el mismo calor que dá: su temperatura permanece constante.
- Si recibe más calor que el que dá: su temperatura aumenta (es lo que está ocurriendo con el calentamiento global debido a emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero).
- Si recibe menos calor que el que dá: su temperatura disminuye.

## ¿Como intercambia calor la Tierra con el vacío interplanetario?

Sólo mediante radiación infrarroja, visible y UV.

Las otras formas de intercambio de calor requieren de un medio material y el espacio interplanetario está vacío.

## ¿Qué temperatura media tendría la Tierra en ausencia de GEI?

Tendría **-18°C** (Peixoto&Oort, 1992). Los GEI suben la temperatura unos **33 °C** (hasta **15 °C** aprox). Este es el efecto invernadero natural. Las emisiones antropogénicas de GEI están incrementando el efecto invernadero.

## Figura del IPCC WGI 2013.

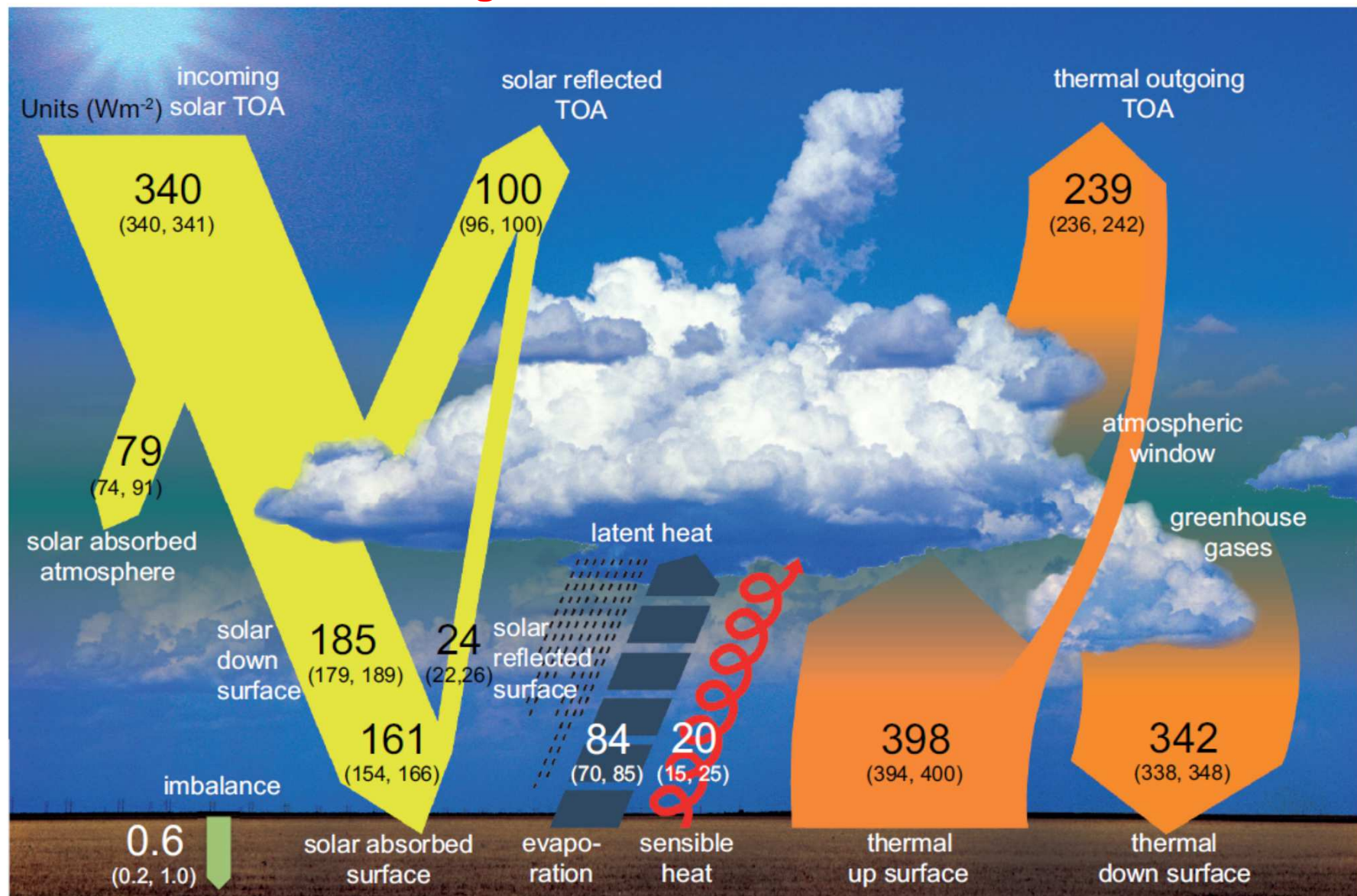
### Balance energético actual.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

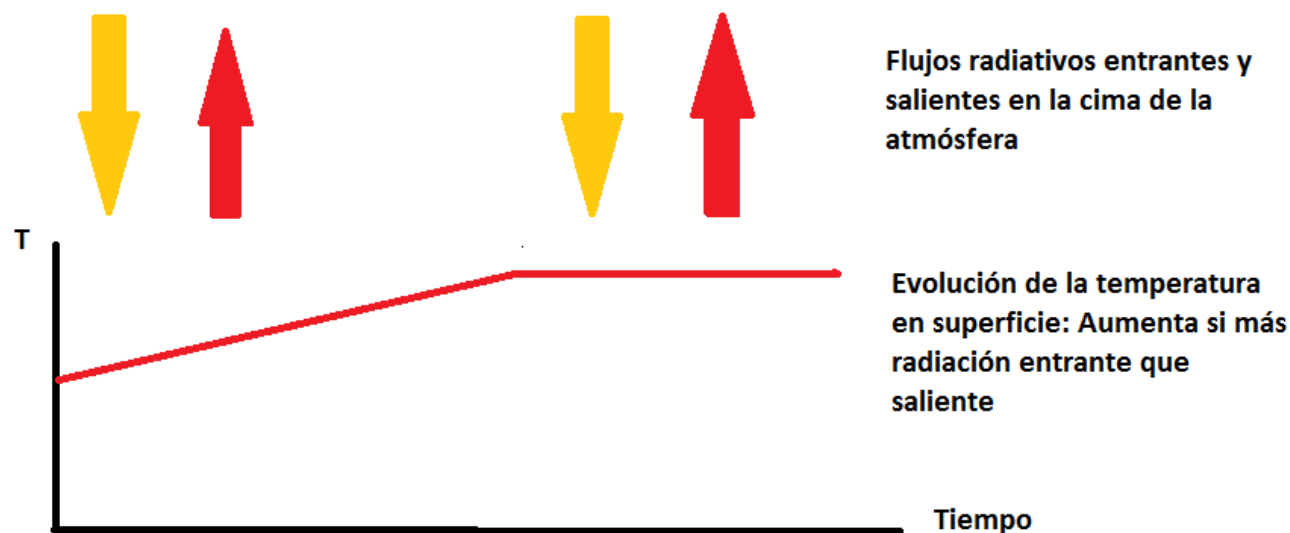


**Figure 2.11:** | Global mean energy budget under present-day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in  $\text{W m}^{-2}$ , adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. (Adapted from Wild et al., 2013.)

La superficie terrestre se calienta por absorción de radiación solar, y se enfría por evaporación, emisión de radiación infrarroja (emite más cuanto más caliente está) y flujo de calor sensible (conducción/convección). Sin embargo, la radiación infrarroja es la única que puede abandonar la atmósfera hacia el espacio interplanetario.

Los GEI absorben y reemiten radiación infrarroja, por lo que dificultan la salida de ésta hacia el espacio.

Los GEI actúan por tanto como un aislante térmico que limita la salida de radiación infrarroja (que enfría) pero no interfiere en la entrada de radiación solar visible (que calienta).





## ¿De que depende el impacto de las emisiones instantáneas de un GEI en el incremento del efecto invernadero (calentamiento global)?

- **De la eficiencia radiativa de dicho gas** (capacidad de absorber radiación infrarroja por molécula. Ejemplo: el CH<sub>4</sub> es mucho más eficiente por molécula que el CO<sub>2</sub>).
- **De las emisiones de dicho gas a la atmósfera** (cantidad de dicho gas emitido a la atmósfera cada año).
- **Del tiempo de vida medio de dicho gas en la atmósfera** (la vida media será menor cuanto más intensos sean los procesos que destruyen ó absorben dicho gas. Ejemplo: la vida media del CH<sub>4</sub> es mucho menor que la del CO<sub>2</sub>).
- **Del tiempo de respuesta del sistema climático** (tiempo de respuesta de la capa de mezcla del océano: 8.4 años; tiempo de respuesta del océano profundo: 409.5 años. El tiempo de respuesta se refiere al tiempo que tarda en absorber el 63% de la energía que debe absorber).

De acuerdo a IPCC WGI 2013 (véase material suplementario avanzado al final de la presentación para más detalles).





**Nueva métrica de emisión introducida por el IPCC (WGI 2013) que tiene en cuenta lo expuesto en la anterior transparencia:**

**AGTP** (Absolute Global Temperature change Potential): **Potencial de cambio Absoluto de la Temperatura Global:** definido como el cambio en la temperatura media global junto a la superficie que tiene lugar en cierto instante del futuro en respuesta a un pulso de emisión en el presente.

**GTP** (Global Temperature change Potential): **Potencial de cambio de la Temperatura Global:** es el cociente entre el AGTP del gas considerado y el AGTP para CO<sub>2</sub>, emitiéndose en ambos casos la misma masa de gas.

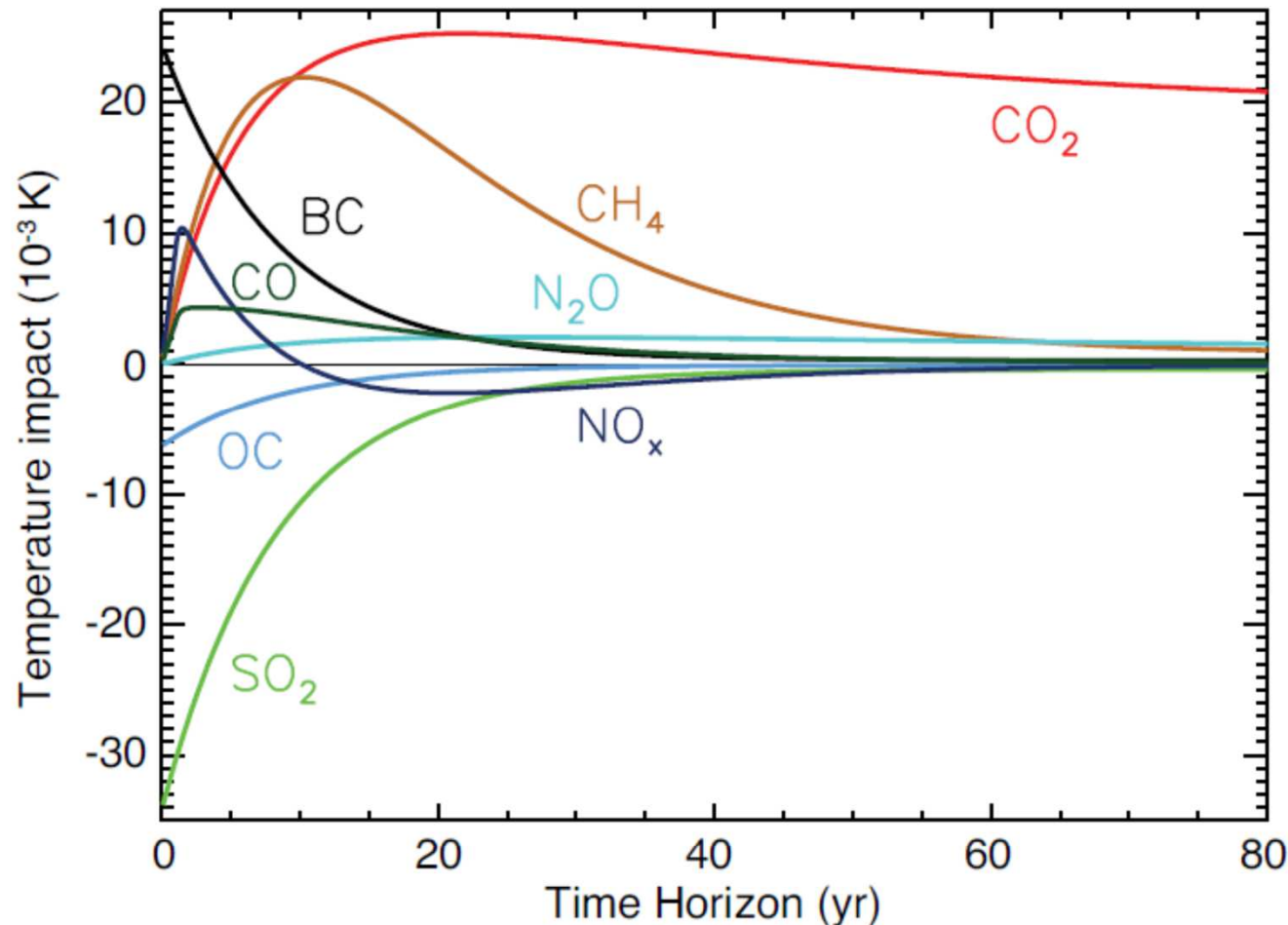
Este concepto es más “visual” que el que se venía usando previamente: **GWT (Global Warming Potential), Potencial de Calentamiento Global.**

**GTP tiene en cuenta el efecto instantáneo en la temperatura, mientras que GWT tiene en cuenta el efecto integrado del forzamiento radiativo.**

## Gases de efecto invernadero bien mezclados más importantes y SF6 (IPCC WGI 2013)

Gas	Concentración media global (2014)	Eficiencia radiativa por molécula relativa a CO2	Vida media (años). Para CH4 y N2O se da la vida media de una perturbación (desigual de la del reservorio, por no linealidad)	GTP 20 años	GTP 50 años	GTP 100 años
CO <sub>2</sub>	397.7 ppm	1	4.3(28%); 36.5(28%); 394(22%); "infinito" (22%)	1	1	1
CH <sub>4</sub>	1833 ppb	26.5	12.4	67	14	4
N <sub>2</sub> O	327.1 ppb	219	121	277	282	234
CFC-12	525 ppt	23400	100	11300	11000	8450
SF <sub>6</sub>	8.0 ppt	41600	3200	18900	23800	28200

**Nota:** el GTP se calcula suponiendo la emisión de **una misma masa de gas**. Sin embargo, en la atmósfera: el CO<sub>2</sub> es 217 veces más abundante que el CH<sub>4</sub>; 1,216 veces más que el N<sub>2</sub>O; 760,000 veces más que el CFC-12; 49,700,000 veces más que el SF<sub>6</sub>.



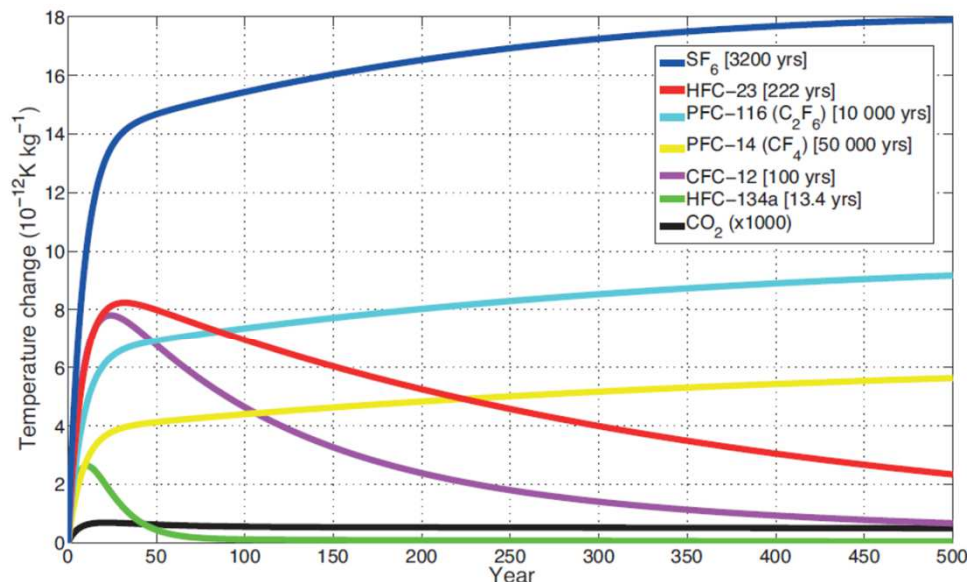
**AGPT pesado en las emisiones anuales actuales de cada gas** (gráfica del IPCC WGI 2013):

Las **emisiones anuales** de **CO<sub>2</sub>** y **CH<sub>4</sub>** actuales tienen un **impacto semejante en la temperatura a un horizonte de 10 años**, pero **a partir de ahí va dominando cada vez con más rotundidad el CO<sub>2</sub>** (ya que el CH<sub>4</sub> se destruye).

**Figure 8.33** | Temperature response by component for total anthropogenic emissions for a 1-year pulse. Emission data for 2008 are taken from the EDGAR database and for BC and OC for 2005 from Shindell et al. (2012a). There are large uncertainties related to the AGTP values and consequentially also to the calculated temperature responses (see text).

**La subida de temperatura del sistema climático** debida al forzamiento radiativo introducido por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero respecto al nivel preindustrial **no es instantánea, sino que se retrasa debido al tiempo que se tarda en calentar el océano.**

**Para cada gas**, hay un balance entre la vida media del gas y el tiempo de respuesta del sistema climático, de forma que **el impacto máximo que la emisión acaecida cierto año tiene sobre la temperatura global del planeta ocurre con un tiempo de retardo tras la emisión diferente** (el tiempo de retardo será mayor cuanto mayor sea la vida media del gas). **Este tiempo de retardo corresponde al valor máximo del correspondiente AGTP.**



Gráfica  
del IPCC  
WGI  
2013

**Retardo aproximado:**

**CO2: 20 años**

**CH4: 10 años**

**N2O: 30 años**

**CFC-12: 25 años**

**SF6: >500 años**

Corolario de  
elaboración  
propia a partir  
de IPCC WGI  
2013

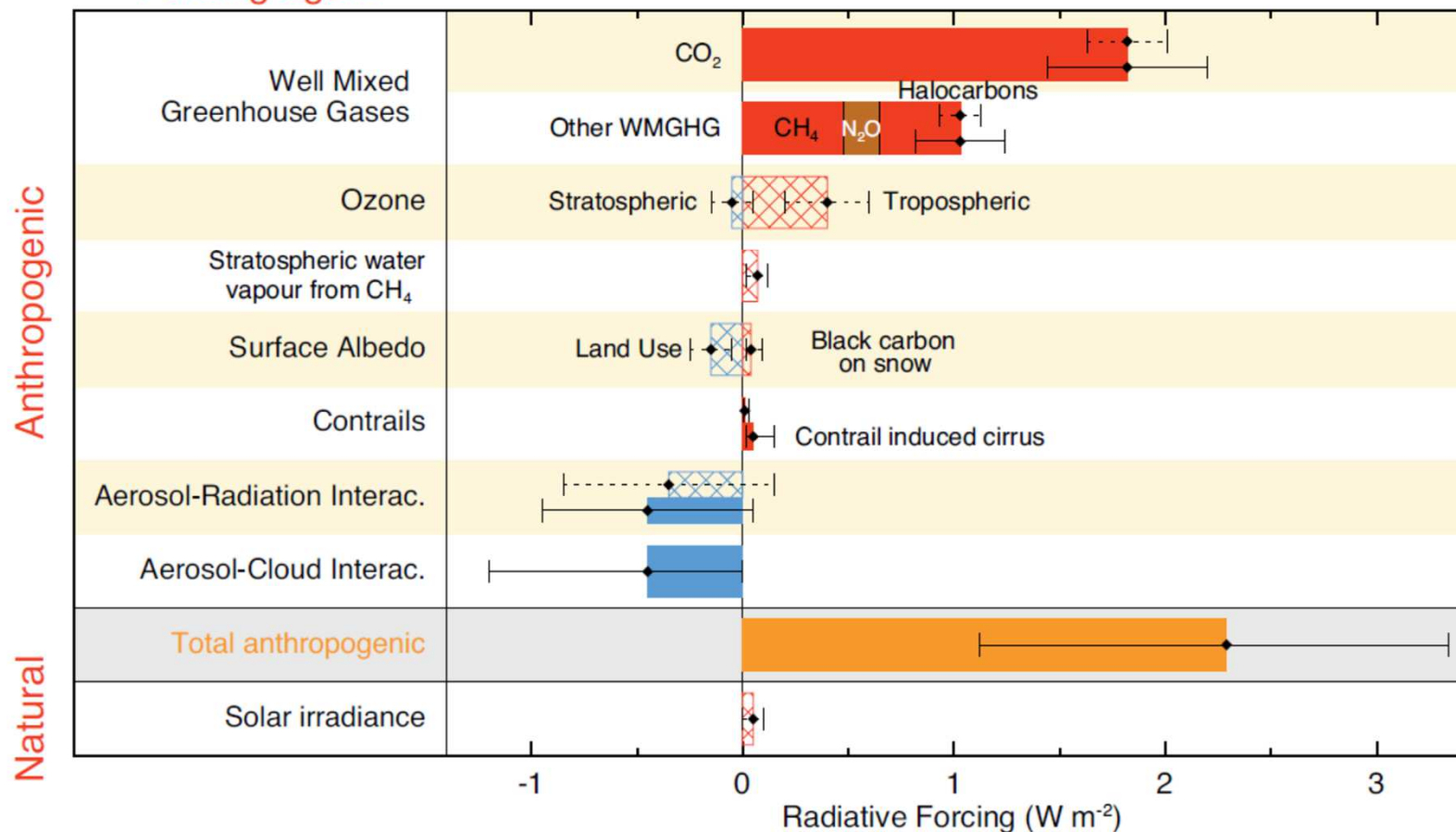
**Figure 8.SM.5** | Temperature response due to 1-kg pulse emissions of greenhouse gases with a range of lifetimes (given in parentheses). Calculated with a temperature impulse response function taken from Boucher and Reddy (2008) which has a climate sensitivity of  $1.06 \text{ K (W m}^{-2}\text{)}^{-1}$ , equivalent to a  $3.9 \text{ K}$  equilibrium response to  $2 \times \text{CO}_2$  (unit for carbon dioxide is  $\text{kg CO}_2$ ).



**El forzamiento del sistema climático respecto al nivel preindustrial** debido al aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y de otros componentes, **se mide en términos del Forzamiento radiativo** (flujo neto radiativo hacia abajo en la tropopausa si todo lo que hay bajo ella está en el estado preindustrial –incluido H<sub>2</sub>O– salvo las concentraciones de los forzadores).

Radiative forcing of climate between 1750 and 2011

Forcing agent



Gráfica del  
IPCC WGI  
2013

**Figure 8.15** | Bar chart for RF (hatched) and ERF (solid) for the period 1750–2011, where the total ERF is derived from Figure 8.16. Uncertainties (5 to 95% confidence range) are given for RF (dotted lines) and ERF (solid lines).

**Forzamiento Radiativo neto actual:  $2.3 \text{ W/m}^2$**

**Supongamos el siguiente experimento imaginario:** a partir del momento actual se emite anualmente sólo la cantidad necesaria de **cada componente** para **mantener su concentración (y por tanto su forzamiento) constante en la atmósfera**

Esto implicaría, por ejemplo, una emisión muy pequeña de  $\text{CO}_2$  (que además debería ser decreciente en el tiempo), y una emisión de  $\text{CH}_4$  casi igual a la actual (ya que el  $\text{CH}_4$  se destruye en la atmósfera).

**La temperatura global de la atmósfera junto al suelo seguiría subiendo cada vez más lentamente hasta que tras 5-10 siglos (tiempo de respuesta del océano profundo en ser calentado) se estabilizaría.**

**¿Cual sería el incremento de temperatura respecto al nivel preindustrial?**

**$2.4 \text{ }^\circ\text{C}$ .** Es decir, gran parte del incremento de temperatura asociado a las concentraciones actuales de GEI aún está por llegar.

(se ha empleado para el cálculo la sensibilidad climática utilizada por el IPCC WGI 2013 en el cálculo de los AGTPs:  $1.06 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ).

## Reetroalimentaciones climáticas fundamentales:

- **Vapor de agua.** El H<sub>2</sub>O es un gas de efecto invernadero, el que más contribuye al efecto invernadero.

Sin embargo, su presencia en la atmósfera no viene determinada por sus emisiones, si no por las condiciones meteorológicas (básicamente la temperatura).

Continuamente está entrando H<sub>2</sub>O en la atmósfera por evaporación y saliendo de ella por precipitación.

Su efecto es simplemente de retroalimentación: el incremento de temperatura provocado por el aumento de concentración de los gases de efecto invernadero de larga vida, hace que “quepa” más H<sub>2</sub>O en la atmósfera y por tanto se refuerce el incremento del efecto invernadero.

- **Hielos polares/cobertura nivosa.** Si el aire está más caliente, se derrite más hielo/nieve, por lo que hay menor superficie con nieve/hielo, esto disminuye el albedo, por lo que se absorbe más radiación solar y por tanto aumenta más la temperatura.

## Efectos fundamentales observados en el sistema climático (IPCC WGI 2013):

- **Aumento de temperatura global de la atmósfera junto a la superficie:** 0.85 [0.65 to 1.06] °C, entre 1880 y 2012.
- Más del 90% de la energía debida al forzamiento radiativo ha sido empleada en calentar el océano (durante el periodo 1971-2010)
- **Disminución de hielo en Groenlandia, Antártida y glaciares, y de la superficie con nieve y hielos marinos** (durante las dos últimas décadas)
- En el periodo de 1901 a 2010, **el nivel medio del mar ha subido** 0.19 [0.17 to 0.21] metros (debido a la expansión térmica del océano por el calentamiento y a la mayor cantidad de agua –procedente del hielo derretido-).

## Atribución:

- Es extremadamente probable que las actividades humanas han causado más de la mitad del incremento de temperatura superficial global media observado entre 1951 y 2010 (IPCC WGI 2013)



## Analogía (del ponente) entre una olla llena de agua y el sistema climático

Consideremos una olla **destapada** y que contiene un poco de agua. Tras un buen rato en la mesa de la cocina alcanza una temperatura constante (cede el mismo calor que gana del entorno), la de la cocina (digamos 25 °C).

Entonces la ponemos al fuego (quemador de gas), a la intensidad mínima. **El fuego es el equivalente a un “forzamiento radiativo” en la energía/calor que llega al sistema.** La temperatura de la olla empezará a subir muy lentamente (**más lentamente cuanto mayor cantidad de agua contenga; equivalente a la inercia térmica de los océanos**).

Al estar la olla más caliente que el entorno, tendrá un pérdida de calor hacia el **entorno** (radiación, conducción y evaporación), siendo la tasa de pérdida de calor mayor cuanto más caliente esté la olla. **Tras cierto tiempo, la olla quedará a temperatura constante (digamos 50 °C) al alcanzarse equilibrio entre el calor que gana y pierde.**

Si le ponemos la tapa a la olla (no es una olla a presión estanca), **se perderá menos calor hacia el entorno** (en cierto modo actúa de “aislante” para la pérdida de calor). La temperatura de la olla aumentará hasta un nuevo valor de equilibrio más alto (digamos 70 °C). **La tapa está provocando un “forzamiento radiativo” limitando la energía/calor que sale del sistema (sería el equivalente a los gases de efecto invernadero del sistema climático).**

# Representative Concentration Pathway Scenarios

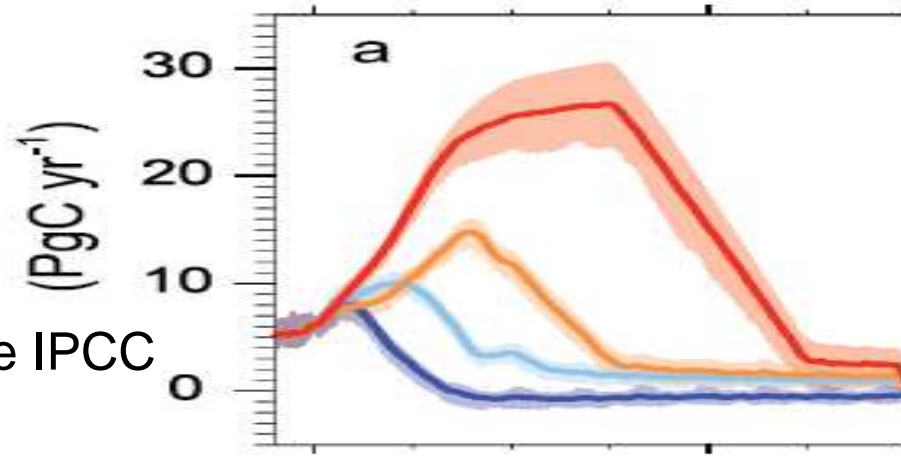
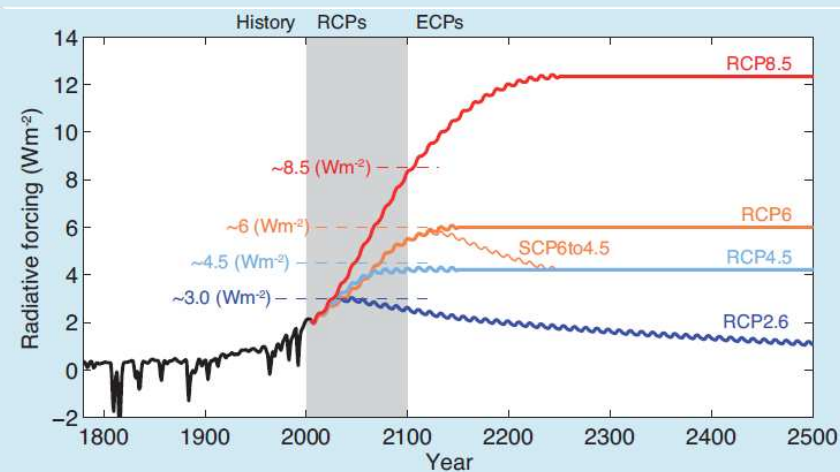
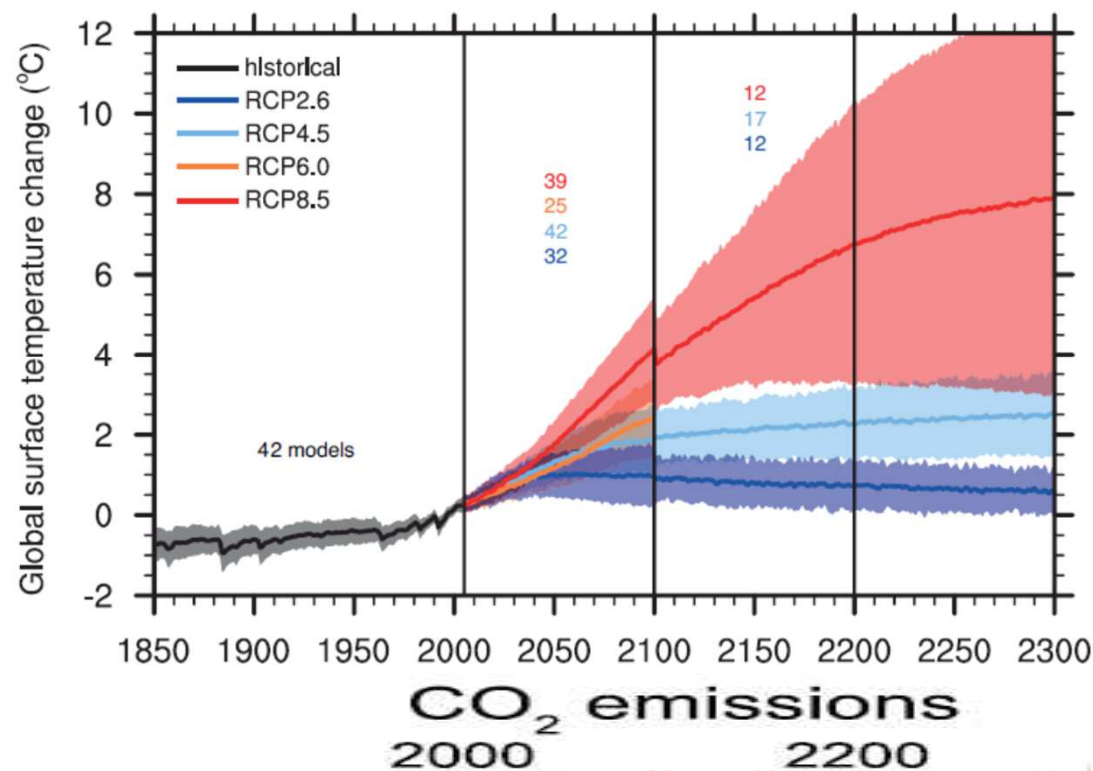
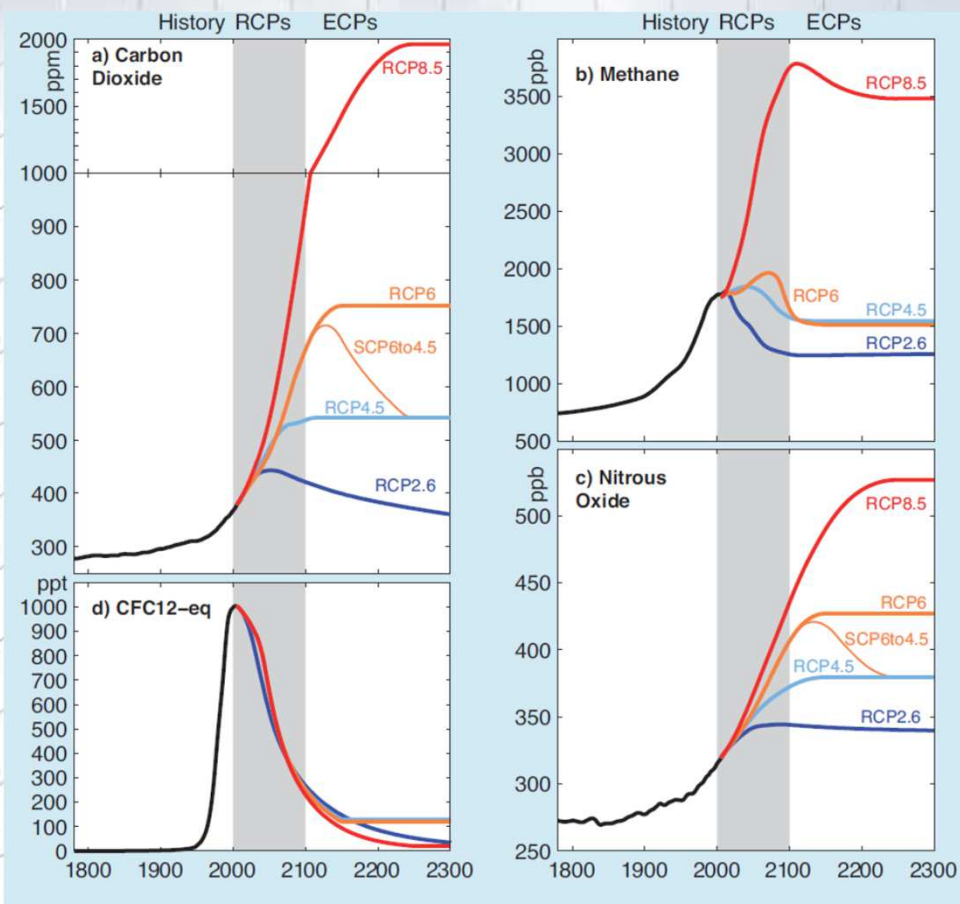


GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

## Proyecciones climáticas para los Escenarios

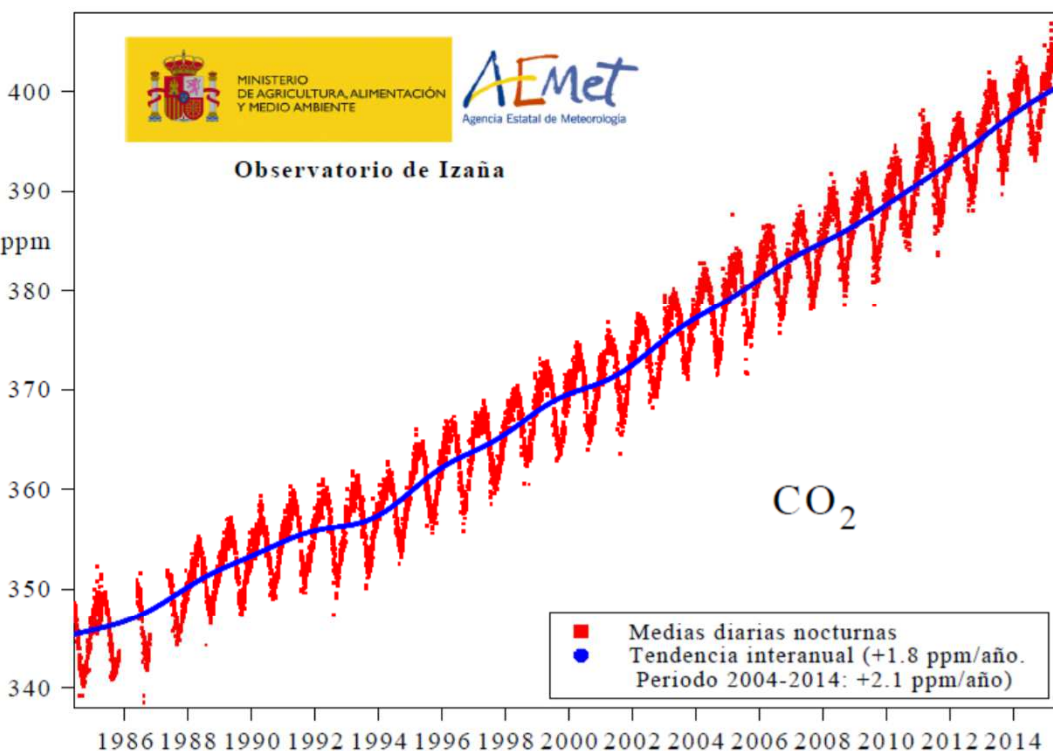


Gráficas de IPCC  
WGI 2013

- **Con separación previa de los componentes en la muestra (Cromatografía)**
  - Inyección periódica de muestras discretas
  - Separación de los componentes moleculares mediante columnas cromatográficas
  - Los distintos componentes llegan al detector desfasados temporalmente (picos cromatográficos)
  - Detector más apropiado para cada molécula (FID: CH<sub>4</sub>; ECD: N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>; RGD: CO...)
- **Sin separación previa de los componentes en la muestra (Espectral)**
  - Medida continua de la muestra
  - **Utilización de las propiedades de absorción en el infrarrojo de las moléculas:**
    - **Banda Espectral:** NDIR; por ejemplo para la medida de CO<sub>2</sub>.
    - **Líneas espectrales individuales** (nueva tecnología): por ejemplo CRDS para la medida de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO. **Esta técnica también es la usada para teledetección desde Tierra (FTIR) ó desde satélite** (la exactitud es peor que con medidas in situ).

*Se darán más detalles sobre las técnicas de medida durante la visita a los laboratorios de medida de Gases de Efecto Invernadero del CIAI.*





Molécula	Exactitud requerida relativa al valor actual de dicho gas
CO <sub>2</sub>	0.025%
CH <sub>4</sub>	0.11%
N <sub>2</sub> O	0.031%
SF <sub>6</sub>	0.25%
CO	2.2%

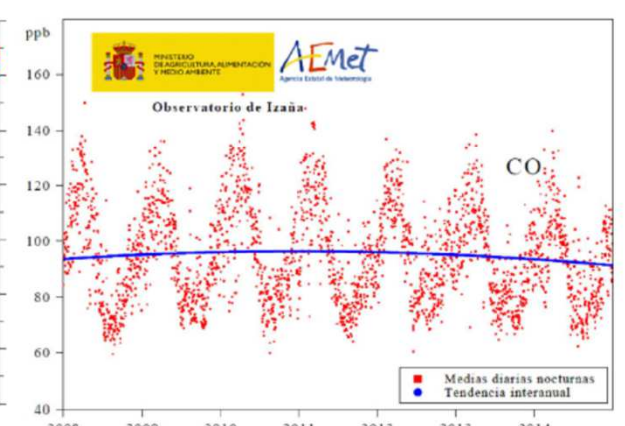
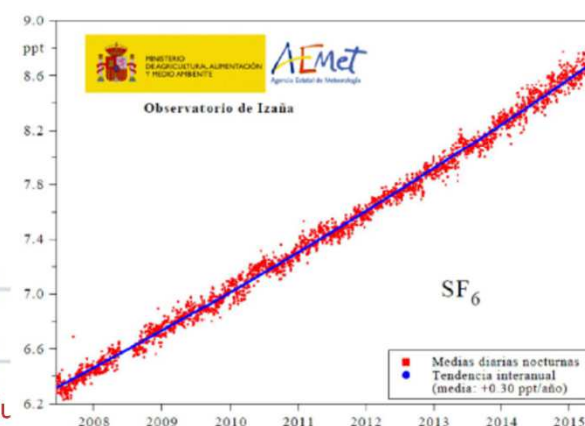
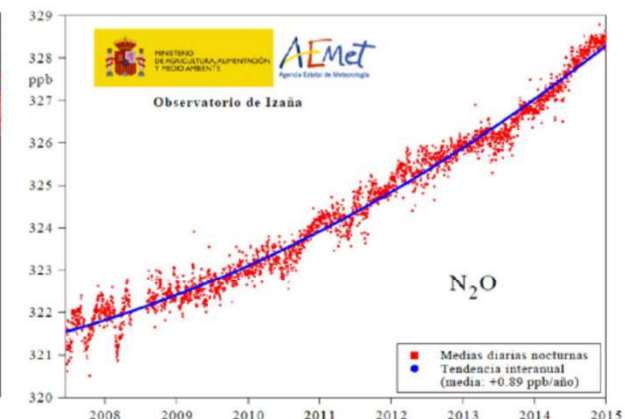
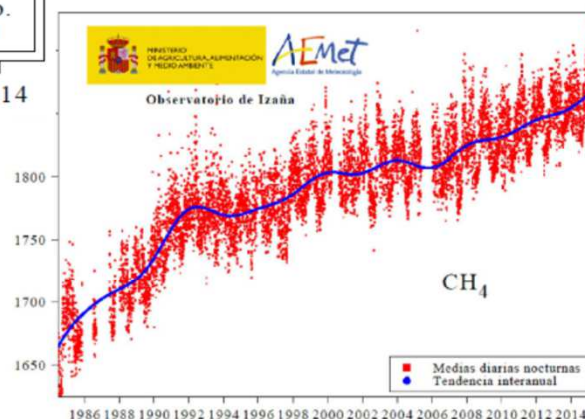
Conceptos Básicos sobre GEI y Calentamiento Global. Cu

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE  
AEmet  
Agencia Estatal de Meteorología

**Medidas continuas in situ de GEI en el CIAI (contribución a VAG de la OMM)**

**Se requiere altísima precisión y exactitud en las medidas de GEI**

(Para determinar con poca incertidumbre los gradientes espaciales de concentración, que son muy pequeños)





Todas las estaciones envían los datos de GEI que miden al **WDCGG de VAG (Tokyo)** para que los use la comunidad científica así:

**Ejecución de modelos numéricos globales de transporte** (que incluyen meteorología) con fuentes y sumideros (antropogénicas y naturales) conocidas a priori con bastante incertidumbre, para simular a lo largo de muchos años del pasado las concentraciones de GEI en la atmósfera



Usando método de inversión (modificar las fuentes de emisión y sumideros en superficie de forma que el modelo de transporte sea capaz de reproducir lo mejor posible la distribución espacial y evolución temporal medida de gases de efecto invernadero) se obtienen los **flujos netos en superficie a posteriori**



Con dichos estudios se:

- 1) Mejora la comprensión del **ciclo de los GEI (fuentes y sumideros)**, lo que **permite/irá** mejorar los **modelos numéricos climáticos** para proyecciones futuras
- 2) **Verifica de forma** independiente los **inventarios de emisiones**

# Implicaciones para los Sistemas de Medida:

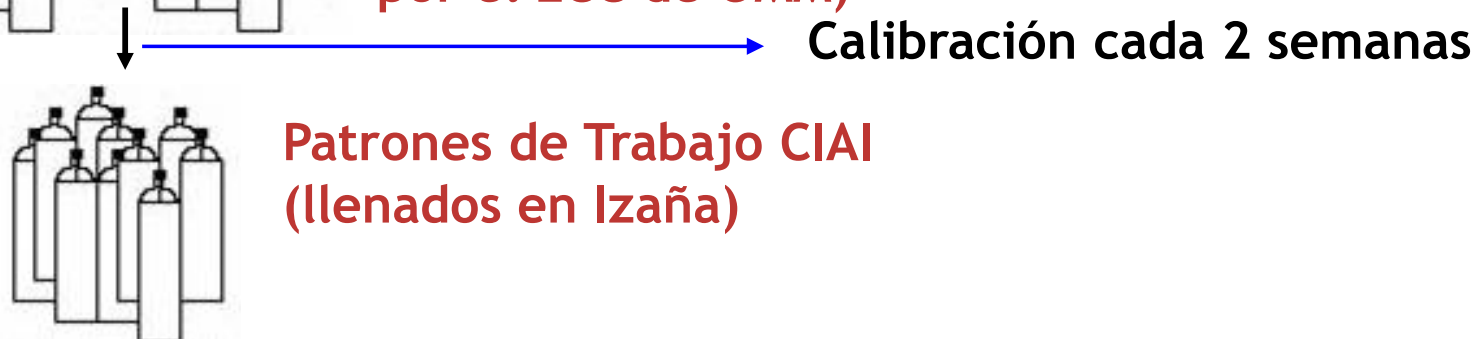
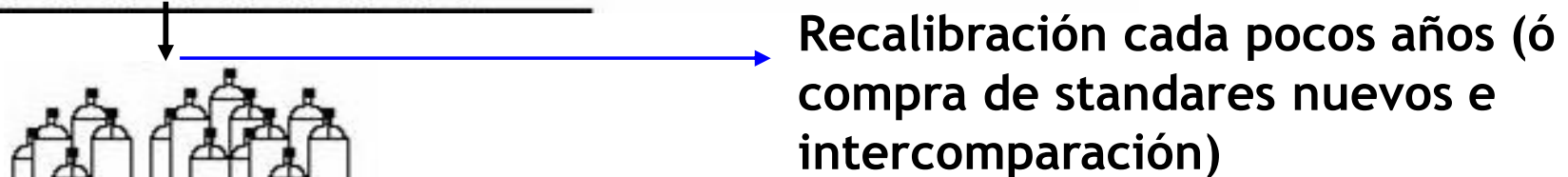
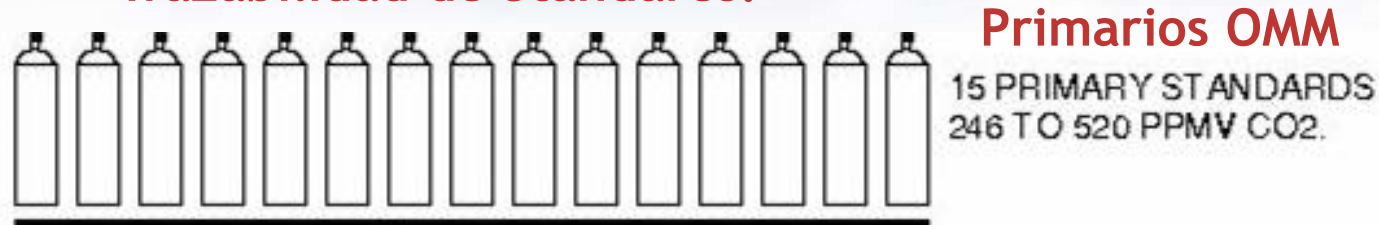
- Instrumentos comerciales (incapaces de dar esta exactitud) **funcionando en modo no comercial**
- Conocer todos los **instrumentos** en profundidad y hacerles las **modificaciones** que sean necesarias
- **Adquisición de señal bruta de sensores.** Softwares de adquisición y control hechos en el CIAI
- **Calibración con patrones cada 15 min, 30 min, ó 1 hora** (dependiendo de sistema)
- **Software de procesado en Fortran 90** hechos en el CIAI para pasar de señal bruta a **concentración** teniendo en cuenta jerarquía de calibraciones (permite reprocesado si ligeros cambios en patrones primarios, por deriva ó cambio de escala OMM).



# Propagación de las Escalas de medida de la OMM. Ejemplo CO2:

Notación: Standard = Patrón

## Trazabilidad de Standares:



Gráfica construida a partir de la Figura 5 de  
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccr/airstandard.html>



## Enlaces de interés:



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

- **Boletín anual de la OMM sobre Gases de Efecto Invernadero:**

<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html>

- **WDCGG: Base Mundial de Datos de Gases de Efecto Invernadero de la OMM:**

<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>

Publicaciones del WDCGG:

<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/products/publication.html>

de especial interés el último WMO WDCGG Data Summary (anual).

- **Página web del IPCC:**

[http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)

### **Informe: Cambio Climático 2013 Bases Físicas.**

- Resumen en español para responsables políticos de este Informe:

[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1\\_AR5\\_SPM\\_ES.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1_AR5_SPM_ES.pdf)

- Resumen técnico en español: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI\\_AR5\\_TS\\_FAQ\\_ES.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI_AR5_TS_FAQ_ES.pdf)





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

Aemet  
Agencia Estatal de Meteorología

¡ Muchas gracias  
por su atención !



30 enero de 2014. Llegando a Izaña con el transporte oficial.

# Material suplementario avanzado respecto a AGTP y el cálculo del incremento de temperatura a partir de él (IPCC WGI 2013)

$$\Delta T(t) = \sum_i \int_0^t E_i(s) AGTP_i(t - s) ds \tag{8.1}$$

$$AGTP_i(H) = \int_0^H RF_i(t) R_T(H - t) dt \tag{8.SM.12}$$

where  $H$  is the time horizon;  $RF_i$  is the radiative forcing due to a *pulse* emission of a gas  $i$  given by

$$RF_i = A_i R_i \tag{8.SM.7}$$

where  $A_i$  is the  $RF_i$  per unit mass increase in atmospheric abundance of species  $i$  (radiative efficiency (RE)), and  $R_i$  is the fraction of species  $i$  remaining in the atmosphere after the pulse emissions. The GWP are

$$R_{CO_2}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \tag{8.SM.10}$$

	1st Term	2nd Term	3rd Term	4th Term
Coefficient (unitless)	0.2173	0.2240	0.2824	0.2763
Time Scale ( $\tau_i$ , years)	-	394.4	36.54	4.304

For most species,  $R_i$  is based on a simple exponential decay,

$$R_i(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \tag{8.SM.8}$$

where  $\tau_i$  is the perturbation lifetime and thus, for these species,

where  $R_T$  is the climate response to a unit forcing and can be represented as a sum of exponentials,

$$R_T(t) = \sum_{j=1}^M \frac{c_j}{d_j} \exp\left(-\frac{t}{d_j}\right) \tag{8.SM.13}$$

	1st Term	2nd Term
$c_j$ (K(W m <sup>-2</sup> ) <sup>-1</sup> )	0.631	0.429
$d_j$ (years)	8.4	409.5